



**Министерство транспорта Российской Федерации  
Федеральное агентство морского и речного транспорта.**

Федеральное государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Государственная морская академия имени адмирала С.О. Макарова»

Кафедра судовых котлов и вспомогательных установок

**Пояснительная записка**  
К курсовому проекту по курсу «Судовые вспомогательные механизмы,  
системы, устройства и их эксплуатация.»

Вариант №...

Учебная группа ЗО ЭСЭУ 26.05.06

Студент: .....

Преподаватель: Перов Валентин Николаевич

ЗАДАНИЕ.....	3
1. Оборудование рулевой машины, гидравлическая схема, требования Регистра.....	4
1.1 Оборудование рулевой машины.....	4
1.2 Гидравлическая схема.....	7
1.3 Требования Регистра.....	8
2. Определение рабочих параметров, построение характеристик рулевой машины по условию задания .....	10
2.1 Расчет, определение размеров руля.....	10
2.2 Расчет гидродинамических сил, момента на баллере руля.....	11
2.3 Расчет рулевого привода, мощности насоса.....	14
3. Построение графиков .....	17
4. Указания по эксплуатации рулевой машины .....	19
5. Вывод .....	22
6. Список используемой литературы.....	23

## ЗАДАНИЕ

### Рулевая машина. Исходные данные для расчетов.

Таблица 1

#### Задание к курсовому проектированию

№ Вари- анта	Дедвейт судна $D_w$ , т.	Мощность главного двигателя $N_e$ , кВт.	Длина Судна $L$ , м.	Осадка судна $T$ , м	Диаметр гребного винта $D$ , м	Скорость судна $v$ , уз.
1	5072	4500	205	6,91	4,8	16

Профиль руля «НЕЖ»

Относительное удлинение руля  $\lambda = 1,5$

### 1.3 Требования Регистра.

Суда должны быть снабжены главным и вспомогательным рулевым приводом, если специально не указано иное.

Главный рулевой привод должен обеспечивать перекладку полностью погруженного руля или полностью погруженной поворотной насадки с  $35^\circ$  одного борта на  $35^\circ$  другого борта при максимальной скорости переднего хода, относящегося к этой осадке. При тех же условиях должна быть обеспечена перекладка руля или поворотной насадки с  $35^\circ$  одного борта на  $30^\circ$  другого борта за время, не более 28 секунд при параметрах, не превышающих номинальных параметров привода.

Вспомогательный рулевой привод должен обеспечивать перекладку полностью погруженного руля или полностью погруженной поворотной насадки с  $15^\circ$  одного борта на  $15^\circ$  другого борта не более чем за 60 секунд, при скорости судна на переднем ходу, равной половине его максимальной, относящейся к этой осадке скорости или 7 уз., в зависимости от того, какое из значений больше.

На нефтеналивных, комбинированных судах, на газовозах и химовозах валовой вместимостью 10000 рег. т и более, а также на всех атомных и на остальных судах валовой вместимостью 70000 рег. т. и более главный рулевой привод должен включать в себя два или более одинаковых силовых агрегата, удовлетворяющих требованиям 2.9.7. (см. также 6.2.1.8. и 6.2.1.9. части IX «Механизмы»).

Если главный рулевой привод включает в себя два или более силовых агрегата, вспомогательный рулевой привод не обязателен в следующих случаях:

- а) на пассажирских и атомных судах главный привод обеспечивает выполнение требований 2 при бездействующем любом одном из силовых агрегатов;
- б) на грузовых судах главный рулевой привод обеспечивает выполнение требований 2 при всех действующих силовых агрегатах;
- в) главный рулевой привод устроен так, что при единичном повреждении в системе его трубопровода или в одном из силовых агрегатов это повреждение может быть изолировано для поддержания или быстрого восстановления управляемости судна.

Если главный и вспомогательный рулевые приводы находятся в помещении, полностью или частично расположенном ниже самой высокой грузовой ватерлинии,

то должен быть предусмотрен аварийный рулевой привод, который необходимо расположить выше палубы переборок. Аварийный рулевой привод должен обеспечивать перекладку полностью погруженного руля или полностью погруженной поворотной насадки с борта на борт при скорости переднего хода не менее 4 уз.

Переход с главного рулевого привода на вспомогательный при аварии должен выполняться за время не более 2 мин.

Управление главным рулевым приводом должно обеспечиваться с ходового мостика и из румпельного отделения. Предусматриваются две отдельные линии управления, получающие питание непосредственно от ГРЩ, но одна из них может запитываться через АРЩ.

В рулевой рубке и ЦПУ должна быть световая и звуковая сигнализация: об исчезновении напряжения, обрыве фазы и перегрузке в цепи питания, исчезновении напряжения в системе управления и минимальном уровне масла в расходном баке.

Около каждого поста управления, а также в румпельном помещении должны быть указатели положения руля. Ошибка в показаниях не должна быть более:

1°- при положении руля в диаметральной плоскости;

1,5°— при углах перекладки от 0° до 5°;

2,5° - при углах перекладки от 5° до 35°.

Рулевое устройство должно иметь систему ограничителей поворота руля, допускающую его перекладку на каждый борт только до угла, который

$$(\alpha^\circ + 1^\circ) \leq \beta^\circ \leq (\alpha^\circ + 1,5^\circ)$$

где  $\alpha$  - максимальных угол перекладки руля, на который настроена система управления, но не более 35°.

## 2. Определение рабочих параметров, построение характеристик рулевой машины

### 2.1 Расчет, определение размеров руля.

Для расчета принимается простой обтекаемый прямоугольный двухпорный балансирный руль, который по сравнению с рулями других типов позволяет получить наименьшее значение момента на баллере.

Таблица 4

Расчет определения размеров руля

№	Наименование	Обозначение	Единица измерения	Расчётная формула	Числовое значение
1	Длина судна	L	м	задана	205
2	Осадка	T	м	задана	6,91
3	Практический коэффициент	$\mu$	-	0,013-0,019	0,016
4	Суммарная площадь рулей	$\Sigma F_p$	м <sup>2</sup>	$\Sigma F_p = \mu * L * T$	22,665
5	Площадь одного руля	$F_p$	м <sup>2</sup>	$F_p = \frac{\Sigma F_p}{n}$	22,665
6	Относительное удлинение	$\lambda$	-	задано	1,5
7	Высота пера руля	$h$	м	$\sqrt{\lambda \cdot F}$	5,831
8	Ширина пера руля	$b$	м	$\frac{F}{h}$	3,887
9	Коэффициент компенсации (для балансирных рулей)	$K$	-	Принимаем $K = 0,25-0,35$	0,3
10	Расстояние от передней кромки руля до оси баллера	$z$	м	$K \cdot b$	1,166
11	Площадь балансирной части руля	$F_6$	м <sup>2</sup>	$K \cdot F$	6,799

## 2.2 Расчет гидродинамических сил, момента на баллере руля.

Таблица 5

Расчет гидродинамических сил, момента на баллере руля.

№	Наименование величины	Обозначение	Единица измерения	Расчётная формула	Числовое значение
1	Коэффициент попутного потока	$\psi$	-	$(0,22 \div 0,26)$	0,24
2	Коэффициент влияния корпуса на руль	$K_k$	-	$(1 - \psi)^2$	0,578
3	Диаметр гребного винта	$D$	м	Задан	4,8
4	Площадь пера руля, омываемая потоком винта	$F_B$	м <sup>2</sup>	$b \times D$	18,658
5	Скорость судна	$v$	уз	-	16
6	Скорость судна в м/с	$v_C$	м/с	$1852 \times v / 3600$	8,231
7	Плотность забортной воды	$\rho$	кг/ м <sup>3</sup>	Принимаем 1020, как среднюю	1020
8	Осевая скорость винта относительно воды	$v_\rho$	м/с	$(1 - \psi) \times v_C$	6,26
9	Мощность, затрачиваемая на вращение винта	$N_\rho$	кВт	$0,98 \times N_e$	4410
10	Упор винта	$P$	Н	$(N_\rho \eta_\rho / v_\rho) \times 10^3$ $\eta_\rho = 0,6 \div 0,7$	458226,2
11	Коэффициент нагрузки винта по упору	$\sigma_\rho$	-	$\frac{8P}{\pi \rho v_\rho^2 D^2}$	1,269

12	Коэффициент влияния винта на руль	$K_B$	-	$1 + \frac{F_B b}{F}$	2,045							
13	Угол поворота руля от среднего положения	$\alpha$	град	Выбираем из таблицы	0	5	10	15	20	25	30	35
14	Коэффициент сопротивления	$C_x$	-		0,045	0,045	0,06	0,095	0,185	0,29	0,395	-
15	Коэффициент подъемной силы	$C_y$	-		0	0,24	0,47	0,685	0,875	1,1	0,9	-
16	Коэффициент центра давления	$C_d$	-		0	0,225	0,242	0,26	0,29	0,315	0,34	-
17	Коэффициент нормальной силы	$C_n$	-	$C_y \cos \alpha + C_x \sin \alpha$	0	0,243	0,473	0,686	0,886	1,119	0,977	-
18	Отстояние центра давления от передней кромки руля	$s$	м	$C_d \times b$	0	0,875	0,941	1,011	1,127	1,224	1,322	-
19	Коэффициент гидромеханического момента	$C_m$	-	$C_n \times \frac{s}{b}$	0	0,055	0,115	0,178	0,257	0,353	0,332	-
20	Нормальная сила	$N$	кН	$C_n K_k K_B \frac{\rho v_c^2}{2} F \cdot 10^{-3}$	0	224,7	437,7	634,7	818,9	1035,3	903,5	-
21	Гидродинамический момент относительно передней кромки руля	$M$	кН×м	$C_m K_k K_B \frac{\rho v_c^2}{2} F b \cdot 10^{-3}$	0	196,6	411,7	641,4	923,2	1267,7	1194,1	-
22	Гидродинамический момент относительно оси руля	$M_a$	кН×м	$C_n K_k K_B \frac{\rho v_c^2}{2} F (b \times C_d - z) \cdot 10^{-3}$	0	-65,5	-98,7	-98,7	-31,8	60,4	140,5	-
23	Коэффициент нормальной силы на заднем ходу	$C_{n.з.х.}$	-	$(0,7 \div 0,8)C_n$	0	0,182	0,355	0,515	0,664	0,840	0,733	-

24	Отстояние центра давления от задней кромки руля на заднем ходу	$S_{3.x.}$	м	$(0,3 \div 0,35)b$	1,283							
25	Гидродинамический момент на заднем ходу судна	$M_{a.3.x.}$	кН×м	$C_{n.3.x.} \times \frac{\rho v_{3.x.}^2}{2} \times F_B [b - (S_{3.x.} + z)] \times 10^{-3}$ $v_{3.x.} = (0,2 \div 0,3)v_C$	0	25,7	50	72,5	93,5	118,2	103,2	-
26	Гидродинамический момент для расчета	$M_\rho$	кН×м	Принимается равным $M_a$ (вся строка), если $M_{aMAX} > M_{a.3.x.MAX}$ , или $M_{a.3.x.}$ (вся строка), если $M_{aMAX} < M_{a.3.x.MAX}$	0	-65,5	-98,7	-98,7	-31,8	60,4	140,5	-
27	Крутящий момент баллере с учетом дополнительных внешних нагрузок	$M_{кр}$	кН×м	$(1,1 \div 1,2) \cdot M_\rho$	0	-88,2	-132,8	-132,8	-42,8	81,2	189,0	-
28	Момент на баллере руля с учетом трения в боковых опорах баллере и пяте руля	$M_\rho$	кН×м	$(1,15 \div 1,2) \cdot M_\rho$	0	-76,7	-115,5	-115,5	-37,2	70,6	164,4	0

## 2.3 Расчет рулевого привода, мощности насоса.

Таблица 6

Расчет рулевого привода, мощности насоса.

№	Наименование величины	Обозначение	Единица измерения	Расчётная формула	Числовое значение
1	Диаметр баллера	$d_b$	см	$k_{10} \times \sqrt[3]{M_{кр}/R_{eH}}$ $k_{10} = 26,1$ $R_{eH} = 320 \text{ МПа}$	21,9
2	Начальный радиус	$R_0$	м	$(1 \div 1,5) \times d_b$	0,285
3	Давление масла в цилиндре привода	$P_i$	МПа	$(10 \div 20)$	15
4	Число пар цилиндров привода	$K_{ц}$	-	1-при $M_{кр} < 100 \text{ кН}\cdot\text{м}$ 2-при $M_{кр} > 100 \text{ кН}\cdot\text{м}$	1
5	КПД привода	$\eta_{пр}$	-	Принимаем 0,78	0,78
6	Диаметр плунжера	$D_{п}$	м	$\frac{1}{10} \sqrt{\frac{0,4 M_{кр} \times \cos^2 a}{\pi \times K_{ц} \times P_i \times R_0 \times \eta_{пр}}}$	0,233
7	Ход плунжера при перекладки руля с борта на борт	$s_I$	м	$R_0 \text{tg}35 + R_0 \text{tg}30$ $\approx 1.277R_0$	0,364
8	Объём масла, подаваемый в цилиндры рулевого привода при перекладке руля с борта на борт	$V$	м <sup>3</sup>	$K_{ц} \times \frac{\pi D_{п}^2}{4} \times s_I$	0,0155
9	Время перекладки руля с борта на борт	$t$	с	Не более 28	25

10	Подача насоса	$q$	$\text{м}^3/\text{с}$	$(1,1 \div 1,2) \times \frac{V}{t}$	0,000712							
11	Радиус румпеля при значении угла поворота угла	$R_a$	$\text{м}$	$\frac{R_0}{\cos a}$	0,28	0,29	0,29	0,29	0,30	0,31	0,33	-
12	Нормальная сила давления на цапфу румпеля	$Q$	$\text{кН}$	$\frac{M_{\text{кр}}}{K_{\text{ц}} \times R_a}$	0	-308,5	-459,3	-450,5	-141,4	258,6	575	-
13	Сила давления на цапфу вдоль оси плунжера	$Q^1$	$\text{кН}$	$Q \times \cos a$	0	307,3	-452,3	-435,1	-132,9	234,4	498	-
14	Сила давления масла на плунжера	$P_1$	$\text{кН}$	$\frac{Q^1}{\eta_{\text{пр}}}$	0	-394	-579,9	-557,9	-170,3	300,5	638,4	-
15	Давление масла в цилиндре при значениях угла поворота руля	$P_i$	$\text{МПа}$	$\left(\frac{4P_1}{\pi D_{\text{п}}^2}\right) 10^{-3}$	0	-9,26	-13,63	-13,11	-4	7,06	15	-
16	Давление масла в цилиндре с учетом подпитки	$P_{\text{под}}$	$\text{МПа}$	$P_i + (0,2 \div 0,3),$ $(0,2 \div 0,3) = P_{\text{под}}$	0,2	-9,06	-13,43	-12,91	-3,8	7,26	15,2	-
17	Давление нагнетания насоса с учетом сопротивления напорного трубопровода	$P_{\text{н}}$	$\text{МПа}$	$P_i + P_{\text{под}} + \Delta P_{\text{тр.н.}}$ $\Delta P_{\text{тр.н.}} = (0,02 \div 0,03)$	0,22	-9,04	-13,41	-12,89	-3,78	7,28	15,22	-
18	Давление всасывания насоса с учетом давления подпитки и сопротивления сливного (всасывающего) насоса	$P_{\text{в}}$	$\text{МПа}$	$P_{\text{под}} - \Delta P_{\text{тр.в.}}$ $\Delta P_{\text{тр.в.}} = (0,02 \div 0,03)$	0,2							

19	Давление насоса	$P$	МПа	$P_H - P_B$	0,02	-9,24	-13,61	-13,09	-3,98	7,08	15,02	-
20	Мощность насоса	$N_H$	кВт	$\frac{qP}{\eta_H} \times 10^3$	0,025	-11,34	-15,62	-14,33	-4,23	8,13	18,43	-
21	КПД насоса	$\eta_H$	-	-	0,57	0,58	0,62	0,65	0,67	0,62	0,58	-
22	Мощность электродвигателя	$N_{\text{Э}}$	кВт	$\frac{N_H}{\eta_{\text{Э}}}$ , $\eta_{\text{Э}} = (0,86 \div 0,87)$	0,029	-13,03	-17,95	-16,47	-4,86	9,34	21,19	-

### 3. Построение характеристик

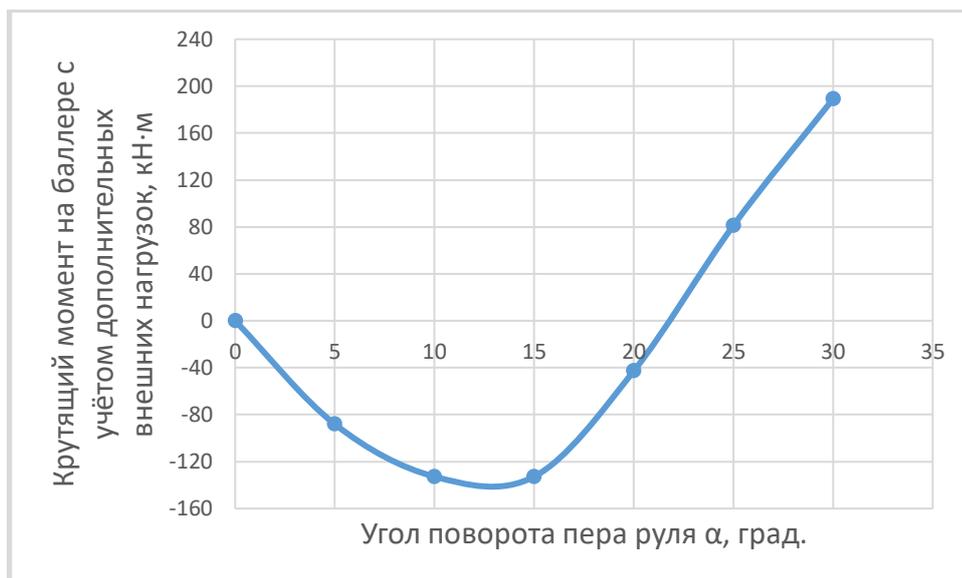


Рисунок 2 – Зависимость крутящего момента на баллере с учётом дополнительных внешних нагрузок от угла поворота пера руля

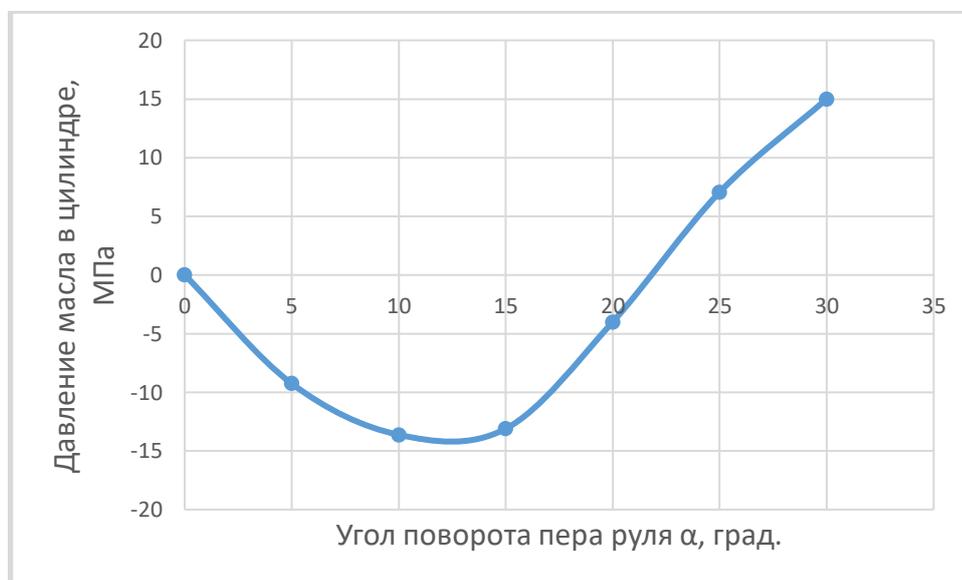


Рисунок 3 – Зависимость давления масла в цилиндре от угла поворота пера руля

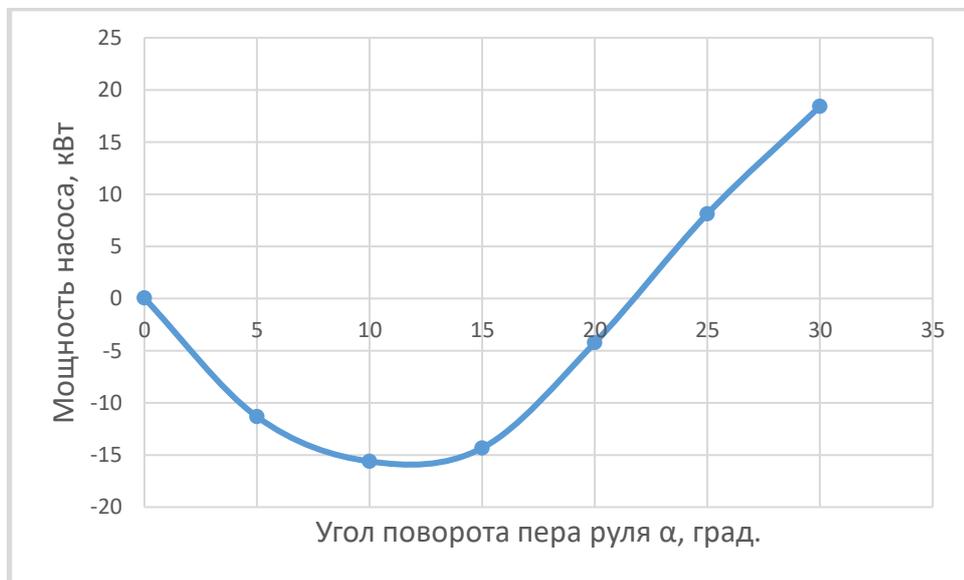


Рисунок 4 – Зависимость мощности насоса от угла поворота пера руля

#### **4. Указание по эксплуатации рулевой машины.**

В течении 12 часов до выхода судна из порта рулевая машина должна быть подготовлена к действию, проверена в работе и испытана в соответствии с требованиями СОЛАС. При этом следует руководствоваться фирменными инструкциями по эксплуатации и действующими руководящими техническими материалами. Проверку и испытание выполняют лица командного состава, занятые эксплуатацией и обслуживанием ГРМ. При подготовке к действию, проверках и испытаниях рулевых машин следует обращать особое внимание на следующее: лёгкость перемещения золотников и отсутствие их заеданий, перекосов и больших люфтов в соединениях; с управляющими валиками; состояние поверхности золотников и их уплотнений; лёгкость проворачивания вручную валов насосов регулируемой подачи при их нулевом эксцентриситете; срабатывания стопорных храповиков или гидрозамков; уровня рабочей жидкости в расширительных баках, положение запорных клапанов. Не должно быть нехарактерных шумов и стуков, наружных утечек рабочей жидкости; скачков и задержек руля при его перекладке, а также автоколебаний управляющих валиков приборов ИМ, золотников гидроусилителей, скользящих блоков радиально-поршневых насосов и руля.

Рулевые машины должны быть хорошо отрегулированы. Показателями качества регулирования являются: наибольшая точность установки руля в заданном положении, определяемая разностью заданного и фактического углов перекладки (достаточная точность  $\pm 0,5^\circ$  при углах перекладки руля  $\pm 10^\circ$ ); минимального рассогласования нулевых положений насосов (не более  $0,5^\circ$  изменение положения руля при переключении насосов); ограниченный (не более 10% номинального) люфт на управляющем органе главного насоса; небольшая общая зона нечувствительности системы управления; минимальная скорость сползания руля в режиме «Простой»; отсутствие автоколебаний.

Во время хода судна вахтенный механик, принимая вахту, обязан осмотреть румпельное отделение и рулевую машину, а вахтенный моторист должен осматривать их два раза за вахту. При этом следует обращать внимание на следующее: наличие смазочного масла на трущихся деталях, в пресс-маслёнках и смотровых стёклах редукторов; состояние регулирующих и стопорных устройств; соответствие

показателей положения руля; температуру (должна быть не ниже 5°C зимой) и относительную влажность румпельного помещения (не более 85%).

Особое внимание следует обращать на уровне рабочей жидкости в расширительных баках, показания манометров гидравлических контуров; плавность переключений руля; не должно быть перегрева рабочей жидкости и наружных утечек; характерных шумов и стуков в насосах и механических соединениях рулевого привода, а также автоколебаний деталей и узлов ГРМ.

При обнаружении существенных отклонений от спецификационных параметров и показателей работы рулевой машины вахтенный механик обязан постоянно наблюдать за её работой, доложить об этом старшему механику и сделать соответствующую запись в журнале.

В течении вахты механик должен периодически контролировать исправность действия рулевой машины по показаниям имеющихся на пульте управления приборов и систематизаторов.

Перед подходом к районам, плавание в которых требует особой осторожности, должна быть проверена исправность действия дистанционного управления рулевой машины на ручных режимах работы. В этих районах должны быть приведены в действие оба насоса, если они могут надёжно работать одновременно.

В случае отказа одного из насосов переход на другой выполняет вахтенный помощник капитана на имеющихся постах управления, а вахтенный механик при этом обязан принять меры по выяснению и устранению причин отказов, доложив о случившемся старшему механику.

Переходы с работы одного насоса на другой в обычных условиях должны выполняться после предупреждения об этом вахтенного механика, который обязан контролировать при этом исправность действия по показаниям, имеющимся на пульте управления приборов и сигнализаторов.

В случае отказа всех систем дистанционного управления осуществляется переход на управление «Местный».

После окончания швартовых операций и снятия готовности, рулевую машину надо остановить и осмотреть, обратив особое внимание на отсутствие перегрева и утечек рабочей жидкости, нормальный её уровень в расходных баках и нейтральное

положение управляющих органов системы управления и насосов. Перо руля должно быть установлено в диаметральной плоскости.

При эксплуатации ГРМ, которой присуще «сползание руля», в режиме управления «Простой», следует установить на посту управления режим «Следящий».

**ВЫВОД:** В ходе курсового проекта была рассчитана четырехплунжерная гидравлическая рулевая машина для судна дедвейтом ( $D_w$ ) 14150 т., мощностью главного двигателя ( $N_e$ ) 9250 кВт, длиной ( $L$ ) 147,8 м., осадкой ( $T$ ) 9,66 м., диаметром гребного винта ( $D$ ) 5,86 м. и скоростью ( $V$ ) 18,8 узлов. Данная ГРМ имеет 2 пары цилиндров привода, давление масла 10 (P) МПа, давление насоса ( $P_n$ ) 10,22 МПа, мощность насоса ( $N_e$ ) 20,26 кВт (при  $\eta = 0,58$ ), а также мощность электродвигателя ( $N_e$ ) 23,56 кВт (при  $\eta = 0,58$ ), время перекладки руля не более 28с.. ГРМ соответствует требованиям РМРС.

### Список используемой литературы:

1. Харин В.М., Занько О.Н., Декин Б.Г., Писклов В.Т. «Судовые вспомогательные механизмы и системы» Москва, ТРАНСЛИТ, 2010
2. «Правила классификации и постройки морских судов» Санкт-Петербург, 2016
3. «Правила технической эксплуатации судовых технических средств» Москва, Мортехинформреклама, 1997
4. Завита В.В., Декин Б.Г. «Судовые вспомогательные механизмы и системы» Москва, Транспорт, 1984